

# REDUCTIE VAN GOLFOVERSLAG BIJ EEN GLADDE DIJK: COMBINATIE VAN EEN BERM EN STORMMUUR

Boderé Tobias en Gilles Vanhouwe

Afdeling Weg- en Waterbouwkunde, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Universiteit Gent, Campus Ardoyen, Technologiepark 904, 9052 Gent, Belgium

E-mail: [tobiasboderé@gmail.com](mailto:tobiasboderé@gmail.com); [gilles.vanhouwe@gmail.com](mailto:gilles.vanhouwe@gmail.com)

Promotor: Prof. dr. ir. J. De Rouck; Begeleider: ir. K. Van Doorslaer

## I. Inleiding

Verscheidene redenen liggen aan de basis van de steeds toenemende interesse in de kustveiligheid en de ermee gerelateerde aspecten. Vooreerst bestaat er sinds de publicatie van het rapport "Climate Change 2007" door het Intergouvernementeel Panel voor Klimaatverandering geen twijfel meer over het fenomeen van klimaatverandering. Gevolgen van deze mondiale klimaatverandering zijn ondermeer een stijging van de waterspiegel en een toename in intensiteit, frequentie en geografisch voorkomen van hevige stormen. Daarnaast zijn er ook sociologische factoren die beleidsmakers ertoe nopen meer aandacht te schenken aan de kustveiligheid. Voorbeelden hiervan zijn de hogere subjectieve waarde-inschatting van mensenlevens, het stijgende economische belang van zeehavens en de toeristische sector,...

De afnemende vrijboord (afstand tussen hoogste punt van de dijk en het stilwaterpeil) en de veranderende stormkarakteristieken vragen een permanente analyse en evaluatie van de bestaande kustinfrastructuur overal ter wereld. In het kader hiervan wordt in opdracht van de Vlaamse overheid momenteel nog volop gewerkt aan het "Geïntegreerd Kustveiligheidsplan" [1] dat dit jaar gepubliceerd zal worden. Het plan moet de Belgische kuststreek in de toekomst behoeden bij het optreden van een 1000-jarige storm (storm die statistisch gezien eens om de 1000 jaar voorkomt). In een ideaal scenario bouwt men daartoe een verdedigingsinfrastructuur die deze en andere (super)stormen volledig tegenhoudt. Om rekening te houden met economische en praktische beperkingen wordt bij de dimensionering ervan echter een zeker overslagdebiet (overstromende hoeveelheid water per tijdseenheid) toegestaan zonder dat hierdoor de globale of lokale stabiliteit van de constructie in het gedrang gebracht wordt, noch dat delen van het hinterland onder water komen te staan.

Het voorspellen van deze overslagdebieten wordt meestal gedaan aan de hand van empirisch bepaalde formules. Deze masterproef heeft tot doel het controleren en aanpassen van de in onze contreien meest gebruikte formules ter toepassing op de aan de Belgische kust typisch voorkomende dijkgeometrie zoals weergegeven in Fig. 1. Tevens wordt het effect nagegaan van enkele mogelijke ingrepen die naar voor geschoven worden in het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan en van een combinatie van deze ingrepen. Hieronder wordt bijvoorbeeld verstaan: de installatie van een verticale stormmuur (al dan niet met parapet), aan de meest zeewaarts of meest landwaarts gerichte zijde van de wandeldijk.

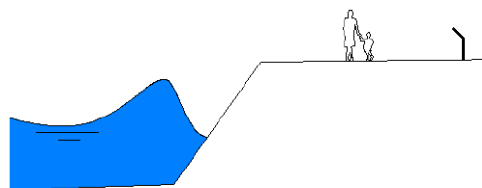


Fig. 1. Typisch aan de Belgische kust voorkomende dijkgeometrie: een hoge dijk met voldoende wandelruimte. In dit voorbeeld is de wandeldijk aan zijn meest landwaarts gerichte zijde voorzien van een stormmuur met parapet.

Het belang van de overspoelde hoeveelheid water kan niet onderschat worden. Zo maakt het nog te verschijnen Kustveiligheidsplan gewag van een potentieel levensbedreigende situatie voor om en bij de 4000 mensen indien een 1000-jarige storm vandaag de Belgische kust teistert. Oostende, net als verschillende andere badsteden langs onze kustlijn, is vandaag slechts beschermd tegen een 100-jarige storm en verdient extra aandacht omwille van zijn laaggelegen stadscentrum.

## II. Theoretische achtergrond

Een veelvuldig gebruikte, algemene formule ter voorspelling van het gemiddelde overslagdebiet is de volgende:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = A \cdot \exp\left(-B \cdot \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

Formule 1

Hierin is  $\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$  het gemiddelde overslagdebiet en  $\frac{R_c}{H_{m0}}$  de dimensieloze vrijboord. De

coëfficiënten A en B variëren naargelang de auteur. Als grondslag voor dit eindwerk werden de formules van J.W. van der Meer gebruikt, zoals voorgesteld in [2]. In [2] wordt een onderscheid gemaakt tussen brekende golfcondities en niet-brekende golfcondities. Alhoewel deze classificatie in eerste instantie werd ingevoerd om aan te duiden met welke formule het best gerekend wordt, bestaat er in de meeste gevallen wel een grote overeenstemming met het fysische verschijnsel van golfbreking. In het geval van niet-brekende golfcondities past de algemene formule zich als volgt aan:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)$$

Formule 2

In het geval van brekende golfcondities wordt volgende formule voorgesteld:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan(\alpha)}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4.75 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_v \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)$$

Formule 3

In deze formules komen enkele parameters voor die de stormcondities aan de teen van de structuur vastleggen alsook enkele geometrische afmetingen van de dijkconstructie:  $H_{m0}$  = de spectrale golfoogte,  $q$  = het gemiddelde overslagdebiet,  $g$  = graviteitsversnelling,  $R_c$  = vrijboord,  $\xi_0$  = brekerparameter (getal van Iribarren) =  $\tan \alpha / \sqrt{s_0}$ ,  $\tan \alpha$  = helling van de dijk,  $s_0$  = fictieve golfsteilheid =  $2 \cdot \pi \cdot H_{m0} / (g \cdot T_{m-1,0}^2)$ ,  $T_{m-1,0}$  = spectrale golfperiode van de invallende golf.

Verder komen in de voorgestelde formules nog coëfficiënten voor die de invloed van enkele overslagreducerende maatregelen voorstellen. Zulke coëfficiënten beschrijven de ruwheid van de dijk ( $\gamma_r$ ), de invalshoek van de golven ( $\gamma_\beta$ ), de aanwezigheid van een berm bovenaan de dijk ( $\gamma_b$ ) of de aanwezigheid van een verticaal stormmuurtje ( $\gamma_v$ ).

## II. Testen en objectieven

Het experimentele onderzoek werd uitgevoerd in de golfgoten van de Afdeling Weg- en Waterbouwkunde van de faculteit Ingenieurswetenschappen aan de Universiteit Gent. De testen met niet-brekende golfcondities werden uitgevoerd in de grote golfgoot (schaal  $\approx 1/30$ ) op een gladde dijk met helling 1:2. De brekende golfcondities werden onderzocht in de kleine golfgoot (schaal  $\approx 1/60$ ) op een gladde dijk met helling 1:6.

De gevolgde testprocedure is dezelfde voor beide golfcondities. Aanvankelijk wordt een referentiesituatie zonder overslagreducerende maatregelen, zijnde de gewone gladde dijk, gecreëerd en uitvoerig beproefd. De resultaten van deze referentiesituatie worden vervolgens gebruikt om de invloed van verschillende overslagreducerende maatregelen te bepalen. In deze thesis werd uitvoerig de invloed van volgende maatregelen nagegaan: een berm (met helling 2%) bovenop de dijk, een verticale stormmuur (al of niet met parapet) of de combinatie van beide waarbij de stormmuur is geplaatst aan de landwaartse zijde van de berm (Fig. 1).

## IV. Resultaten en conclusies

Alle testen werden uitgevoerd op gladde structuren ( $\gamma_f = 1$ ) waarbij de invalshoek van de golven gelijk is aan 0, d.i. loodrechte inval. Aangezien getracht wordt zoveel mogelijk de situatie voor de Belgische kust te simuleren werd verder geopteerd voor golftreinen met een JONSWAP-spectrum en piekfactor 3.3 op diep water. De voornaamste resultaten van het onderzoek worden hieronder vermeld voor elke beproefde geometrie.

### A. Gladde dijk met berm onder een helling van 2%

Een schets van deze situatie is weergegeven in Fig. 2.

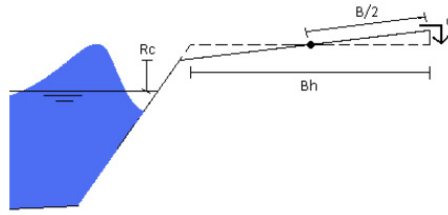


Fig. 2. Schets van configuratie met berm (helling 2%) en aanduiding van de voornaamste parameters in de formule

In niet-brekende golfcondities wordt gevonden, in tegenstelling met wat Formule 2 voorspelt, dat een berm bovenop de gladde dijk wel degelijk een overslagreducerend effect heeft. De formule voor niet-brekende golven wordt aangepast tot Formule 4. De  $\gamma_b$ -coëfficiënt om het effect van de berm in rekening te brengen wordt berekend aan de hand van Formule 5. Hierin is  $L_0$  de golflengte op diep water  $\left( = g \cdot T_{m-1,0}^2 / 2 \cdot \pi \right)$ .  $\gamma_b$  is gelijk aan 1 indien geen berm aanwezig is.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \gamma_b \cdot \exp \left( -2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_b} \right)$$

Formule 4

$$\gamma_b = 0.939 - 0.058 \frac{B_h^2}{L_0 \cdot R_c} \text{ met } \frac{B_h^2}{L_0 \cdot R_c} \in [0.05-3.95]$$

Formule 5

Voor brekende golfcondities wordt gevonden dat de resultaten sterk onderhevig zijn aan schaafeffecten. Deze schaafeffecten zijn een gevolg van de grote bijdrage van de wrijvingsverliezen tot het totale energieverlies en de incorrecte schaling van deze wrijvingsverliezen door toepassing van het Froude-schaalmodel bij overslagproeven. De dikte van de overtoppende watertong is beperkt, wat inhoudt dat de bijdrage van de wrijvingsverliezen veel groter is in de kleine golfgoet dan in de grote golfgoet. Bijkomend en diepgaander onderzoek wordt aangeraden.

### B. Gladde dijk met verticale stormmuur

Een schets van deze configuratie is weergegeven in Fig. 3.

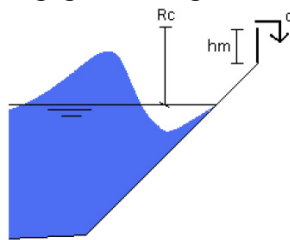


Fig. 3. Schets van configuratie met verticale stormmuur en aanduiding van de voornaamste parameters in de formule.

Net zoals bij de berm wordt gevonden dat Formule 2 onvoldoende rekening houdt met het effect van een verticale stormmuur bovenaan de dijk. De formule voor niet-brekende golfcondities wordt aangepast tot Formule 6. Onder brekende golfcondities blijft Formule 3 geldig.  $\gamma_v$  kan berekend worden aan de hand van Formule 7 in beide golfcondities.  $\gamma_v$  is gelijk aan 1 indien geen stormmuur aanwezig is.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp \left( -2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_v} \right)$$

Formule 6

$$\gamma_v = 0.939 - 0.367 \cdot \frac{h_{\text{muur}}}{R_c}$$

Formule 7

Met  $h_{\text{muur}}/R_c \in [0.05, 0.90]$  in niet-brekende golfcondities en  $h_{\text{muur}}/R_c \in [0.08, 0.60]$  in brekende golfcondities.

### G. Gladde dijk met berm en stormmuur

Een schets van deze configuratie is weergegeven in Fig. 4.

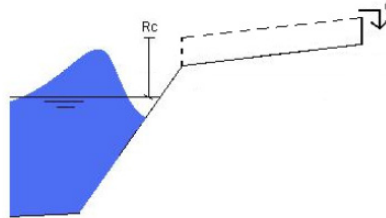


Fig. 4. Schets van configuratie met stormmuur aan de landwaartse zijde van de berm (helling 2%) en aanduiding van de voornaamste parameters in formule

Hier wordt gevonden dat een combinatie van Formule 4 en Formule 6 in een formule gelijkaardig met Formule 3 het overslagdebiet overschat. De formule voor niet-brekende golfcondities wordt aangepast tot

Formule 8. De  $\gamma_{bv}$ -coëfficiënt om het gecombineerde effect van beide maatregelen te beschrijven wordt berekend aan de hand van

Formule 9.  $\gamma_{bv}$  is gelijk aan 1 indien geen maatregelen aanwezig zijn.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \gamma_b \cdot \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_{bv}}\right)$$

Formule 8

$$\gamma_{bv} = 1.148 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_v - 0.173 \text{ met } \gamma_v \text{ volgens Formule 7 en } \gamma_b \text{ volgens Formule 5}$$

Formule 9

De resultaten van de testen met brekende golfcondities bleken onregelmatigheden te vertonen. De eerder vermelde schaafeffecten kunnen hiervoor opnieuw als verklaring ingeroepen worden.

### D. Gladde dijk met berm en stormmuur met parapet

Het effect van een parapet op een stormmuur werd reeds uitvoerig onderzocht in [3]. De resultaten van [3] worden gebruikt om het samengestelde effect van een berm (met helling 2%) en stormmuur met parapet te beschrijven. Er wordt gevonden dat de combinatie van  $\gamma_{bv}$  en  $\gamma_{\text{parapet}}$  het gemiddelde overslagdebiet onderschat. Formule 2 werd aangepast tot Formule 10 en  $\gamma_{bv, \text{parapet}}$  wordt berekend aan de hand van

Formule 11.

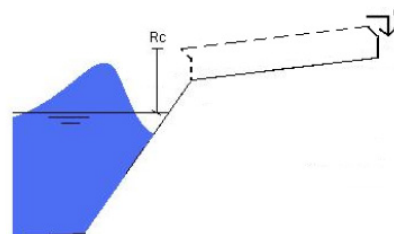


Fig. 5. Schets van configuratie met stormmuur, voorzien van parapet, aan de landwaartse zijde van de berm (helling 2%) en aanduiding van de voornaamste parameters in formule.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \gamma_b \cdot \exp\left(-2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_{bv, \text{parapet}}}\right)$$

Formule 10

$$\gamma_{bv, parapet} = 1.447 \cdot \gamma_{bv} \cdot \gamma_{parapet} + 0.041 \text{ met } \gamma_{bv} \text{ volgens}$$

Formule 9 en  $\gamma_{parapet}$  volgens [3]

Formule 11

### E. Opmerkingen en besluit

De vermelde theoretische formules laten een adequate theoretische voorspelling toe van de experimenteel bepaalde overslagdebieten. De gemiddelde procentuele afwijking bij de bepaling van het gemiddelde dimensieloze overslagdebiet bij gegeven dimensieloze vrijboord bedraagt 25% en 5% bij de bepaling van de dimensieloze vrijboord bij gegeven dimensieloos overslagdebiet. De standaardafwijkingen op deze waarden bedragen 20% respectievelijk 4%. De voorgestelde formules laten toe om in de toekomst dijkconfiguraties te ontwerpen die geijkt zijn op de situatie aan de Belgische kust en deze te beschermen tegen de superstormen. Voor diepgaandere bemerkingen bij de formules en de gehanteerde methodes wordt verwezen naar de eigenlijke thesis.

### Referenties

- [1] Vlaams ministerie van Mobiliteit en Openbare Werken. 2010. Geïntegreerd Kustveiligheidsplan. (in opmaak).
- [2] van der Meer J.W.. 2002. Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken.
- [3] Van Doorslaer K.. 2008. Reductie van golfoverslag over dijken door middel van een parapet (scriptie).